

Minimización de material particulado generado en el proceso de clinkerización mediante el empleo de filtros de mangas

Minimization of particulate material generated in the clinkerization process through the use of bag filters

Ever Segundo Castillo Diaz^{1*}; Segundo Seijas Velasquez²

¹Escuela de Posgrado, Universidad nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II S/N Trujillo – Perú

²Facultad de Ingeniería, Ingeniería Industrial. Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II S/N Trujillo – Perú.
mabesei@yahoo.com (Seijas, S.)

*Autor correspondiente: evercastillo431975@gmail.com (E. Castillo)

RESUMEN

En el presente trabajo se propuso minimizar la concentración de material particulado generado en el proceso de clinkerización del cemento mediante el empleo de filtros de mangas diseñado de acuerdo a las emisiones de material particulado, tomando como base el flujo de alimentación de carga al horno de clinker. Para su ejecución se procedió a evaluar las emisiones conteniendo material particulado empleando la metodología según norma EPA 5 EPA 17. El filtro de mangas consiste esencialmente en una estructura que contiene en esencia una superficie filtrante de fibra sintética de acuerdo a la temperatura de salida del horno y principalmente de acuerdo al tamaño de partícula, para ello se evaluó la concentración de material particulado, tomando en cuenta principalmente las partículas de tamaño inferior a los 10 μm en el área de operación, empleando el ratio de volumen de aire por superficie de tela para el filtro de tipo mangas. El diseño concluyó en un algoritmo y desarrollo en programación Java considerando como dato de entrada el flujo de alimentación de material al horno de clinker obteniéndose los diferentes modelos matemáticos para determinar los parámetros de diseño del filtro.

Palabras clave: Filtro de mangas; material particulado; clinkerización; horno de clinker; parámetros de diseño

ABSTRACT

In the present work, it was proposed to minimize the concentration of particulate material generated in the cement clinkerization process by using sleeve filters designed according to the emissions of particulate material, based on the flow of feed to the clinker furnace. The bag filter consists essentially of a structure which essentially contains a synthetic fiber filtering surface according to the outlet temperature of the furnace and mainly according to the particle size, for which the concentration of particulate material was evaluated, taking into account mainly particles smaller than 10 μm in the area of operation, using the ratio of air volume per fabric surface for the bag-type filter. Design concluded on an algorithm and development in programming Java whereas as input the flow of feed of clinker kilns material obtaining different mathematical models for determining the design parameters of the filter.

Key words: Filter bag; particulate material; clinkerization; clinker oven; design parameters

1. INTRODUCCIÓN

La elaboración de cemento se inicia desde el transporte de materia prima conteniendo los diferentes materiales tales como piedra y agregados calcáreos, son triturados luego pesados, almacenados, homogenizados, calcinados (clinkerizado) en un horno rotatorio y finalmente almacenado.

En todas las etapas del proceso se generan problemas de contaminación ambiental principalmente por material particulado la misma que puede ser minimizada con la aplicación de diversas técnicas principalmente para la disminución del material particulado en la planta y principalmente en el área de clinkerizado teniendo en cuenta que el tamaño de la partícula es menor a las 10 μm .

Desde la segunda mitad de la década de 1980, varios países incluyeron en sus normas sobre material particulado a las partículas con menos de 10 μm de diámetro aerodinámico (PM10). En la segunda mitad de la década de 1990, las normas sobre material particulado especificaron considerar no solo al PM10 sino también al material particulado menor a 2,5 μm de diámetro aerodinámico (PM 2,5). El motivo de este cambio, como ya se ha comentado, es que las partículas más pequeñas son más peligrosas para el hombre porque tienen mayor probabilidad de ingresar a la parte inferior de los pulmones y tiene efectos en la salud y bienestar del hombre, puede contribuir a aumentar las enfermedades respiratorias como la bronquitis y exacerbar los efectos de otras enfermedades cardiovasculares. Asimismo, afecta la visibilidad y velocidad de deterioro de muchos materiales hechos por el hombre (González et al., 2014).

El material particulado en la salud tiene impacto moderado cuando su concentración en el ambiente es menor a 200 g/m^3 presentando como efecto disminución en la capacidad respiratoria a partir de las 250 g/m^3 se incrementa las enfermedades respiratorias principalmente en ancianos y niños y a partir de una concentración de 400 a 500 g/m^3 se torna en grave y muy grave aumentando la mortalidad del adulto mayor y enfermos. (Gutiérrez et al., 2013; Suárez et al., 2017; Martínez y Díaz, 2014).

Muchas industrias tales como la de cemento y derivados teniendo en cuenta que en su proceso emplean materiales pulverulentos de tipo calcáreos, arcillas, caolín etc. presentan una alta contaminación del aire debido al alto contenido de material particulado en el ambiente de trabajo los cuales superan los valores máximo permisibles para este contaminante, principalmente en la etapa de clinkerización que se desarrolla en el horno y tiene un paso previo de trituración y molienda de las materias primas, además de un proceso posterior de molienda del clinker con yeso para obtener el producto final que es el cemento (Johansen, 2014).

Durante el proceso de fabricación de cemento se calcina roca caliza, que es uno de los principales componentes del clinker y, en consecuencia, del cemento. En el proceso de calcinación de la roca caliza y la utilización de carbón como fuente de energía se libera productos de combustión como cenizas, dióxido de carbono gases nitrosos a la atmósfera, que afecta negativamente la calidad del aire y el medioambiente, este problema es inevitable en la fabricación del cemento (Aguilar y Briones, 2015).

La empresa Cementos Pacasmayo, realiza esfuerzos concretos en distintos frentes para disminuir las emisiones de gases contaminantes en las diferentes operaciones innovando productos que contengan menos clínker en su composición, controlando las emisiones de polvos residuales al ambiente efectuando tareas de reforestación; así mismo para reducir las emisiones de partículas de polvo en el aire, en las operaciones de carga y descarga de material estas actividades la realizan en espacios cerrados para aglomerar las partículas de polvo fugitivo que generan la carga y descarga del material del horno; sin embargo las emisiones al medio ambiente superan los máximos permisibles a pesar que las chimeneas del horno cuentan con filtros que evitan las emisiones de polvo.

Canales et al. (2014) Caracterizaron químicamente las partículas PM10 para las temporadas de invierno y verano en la zona urbana y rural de Mexicali. Las muestras fueron tomadas con equipos de bajo volumen cada dos días empleando filtros, de cuarzo y de teflón concluyendo que la contribución natural del material particulado atmosférico es mayor que la contribución antrópica (industrias y tráfico), aunque las composiciones químicas de estos últimos son más perjudiciales para la salud. El material particulado derivado de las explotaciones mineras y/o calcáreas como la elaboración de cemento se considera antropogénicas al intervenir el hombre en su origen. Además, se trata de partículas primarias, ya que son emitidas como sólidos a la atmósfera.

La Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, se inicia con la promulgación del D.S.N°613 "Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales", emitido en setiembre de 1990; y en lo que concierne al Sub-sector Industria Manufacturera con la promulgación del D.S.N°019-97-ITINCI "Reglamento de Protección Ambiental para el Desarrollo de Actividades de la Industria Manufacturera", emitido el 1° de octubre de 1997 y Protocolos de monitoreo de efluentes y emisiones atmosféricas (R.M.026-2000-ITINCI/DM del 28-02-00) (Ministerio del Ambiente 2016).

La captación y depuración de partículas generadas en esta área presenta una problemática muy diversa que en los distintos procesos industriales que generan emisiones a la atmósfera; teniendo en cuenta que a las partículas de los materiales calcáreos empleadas en el proceso se suman los materiales particulados procedentes de los gases de combustión del horno de Clinker el cual emplea como combustible carbón bituminoso que contiene por lo general un alto contenido de cenizas las cuales se emiten al medio ambiente. La recuperación de productos en polvo del gas de descarga es vital para cualquier industria y en el presente caso la industria de cemento para evitar los problemas de polución o aumentar el rendimiento de la planta.

Como antecedentes referidos a la captación de material particulado se tiene el artículo científico de Villarroel et al., (2009) con su trabajo: "Captura, cuantificación y caracterización del material particulado sedimentable

en techumbres de la ciudad de Copiapó” consistió en la caracterización del material particulado depositado por las empresas mineras de la ciudad de Copiapó en los relaves de mayor impacto ambiental, así como la concentración de algunos de los elementos presentes en ellos. Simultáneamente, se procedió a capturar, cuantificar y caracterizar el material particulado suspendido y precipitable presente en la columna de aire disponible para la población de la ciudad de Copiapó y determinó, el porcentaje de los elementos detectados en cada muestra. La caracterización del material particulado, tanto de los relaves como el capturado en la columna de aire y los recolectores PM10 de alto volumen, fue realizada mediante los análisis PIXE (Protón Induced X-ray Emission) y GIXE (Gamma Induced X-ray Emission). Estos análisis no detectaron la presencia de los elementos más dañinos para la salud humana, a saber, cadmio y arsénico, al menos en puntos cercanos a la ciudad de Copiapó; sin embargo, se logró determinar la presencia de plomo en una zona de alta densidad poblacional.

Minguillón (2011) en su tesis doctoral: “Composición y fuentes del material particulado atmosférico en la zona cerámica de Castellón. Impacto de la introducción de las Mejores Técnicas Disponibles” del año 2011 realizó un estudio en profundidad durante el periodo 2002-2005 sobre los niveles y composición del material particulado atmosférico en la zona cerámica de Castellón, identificando las fuentes emisoras y evaluando el impacto de la implantación de medidas correctoras en algunas instalaciones industriales sobre la calidad de aire. La autora investigó la correlación entre la evolución de las emisiones generadas con los niveles de determinados contaminantes en aire ambiente observando que la evolución de los niveles de As, Pb, Zn y Cs en aire ambiente es paralela a la evolución de la emisión de PM10 procedente de la fabricación de fritas, mostrando un claro descenso a lo largo del periodo 2002 a 2006. Algunas de estas medidas que propuso son: a) realización del almacenamiento y manipulación de materias primas del soporte de baldosas en instalaciones cerradas; b) pavimentación y limpieza de los viales de circulación; c) mantenimiento de los camiones para evitar pérdidas de carga y limpieza de bajos y neumáticos a la salida de las empresas; d) instalación de filtros de mangas en los atomizadores y hornos de fusión para la fabricación de fritas; f) reducción de utilización de materias primas con metales como impurezas o como componentes.

Hurtado (2016) en su diseño de filtros de mangas determinó que estos equipos tienen un alto rendimiento en la captación de material particulado del orden de 99 % al 99,9 % inclusive para partículas muy finas submicrónicas o en todo caso hasta de varios cientos de micras pudiendo operar con una amplia variedad de polvos, de distinta naturaleza y propiedades tanto físicas como químicas.

Para el diseño considero distintos caudales de gas teniendo como base las relaciones matemáticas:

$$I_p = \frac{C_p \cdot V \cdot t}{\rho_p} \quad (1)$$

$$\Delta P_m = \left[\frac{I_t \cdot \mu}{K_t} \right] \cdot V + \left[\frac{\mu}{K_p \cdot \rho_p} \right] \cdot (C_p \cdot V \cdot t) \cdot V \quad (2)$$

Dónde:

C_p : Concentración de partículas en el gas, también denominada carga de polvo (kg/m^3).

t : Tiempo entre ciclos de limpieza consecutivos (s).

ρ_p : Densidad aparente de la torta de polvo (kg/m^3).

Se parte de unos datos de partida, que son:

Q_{gas} : Caudal de gases de entrada conteniendo material particulado.

$m_{\text{gas}} = m_{g2} + m_{v1} + m_{ev} + m_{\text{aire}}$

ΔP_m : Pérdida de carga en el medio filtrante (N/m^2 o Pa).

I_t e I_p : Distancias recorridas por el gas a través de la tela y de la torta de polvo, respectivamente. (m).

μ : Viscosidad del gas ($\text{kg/m} \cdot \text{s}$).

V : Velocidad de filtración o relación (m/s).

K_t y K_p : Permeabilidad de la tela y de la torta de polvo, respectivamente (m^2).

Evaluó la velocidad de los gases que pasan por la tela, normalmente entre 0,005 y 0,03 m/s, para evitar una excesiva compactación de la torta de sólidos con la consiguiente elevación de la pérdida de carga, o para impedir la rotura local del lecho filtrante que permitiría el paso de partículas grandes a través del filtro.

Los sistemas de filtración constituyen tecnologías relevantes en lo que se refiere a descontaminación y preservación del medio ambiente; dentro de toda la gama de filtros que se ofrecen en el mercado, por tratarse de una solución tradicional y eficiente en términos de retención del material particulado, los filtros de manga ocupan un lugar preferente, siendo un poco más dispersos los equipos para abatir gases esto es básicamente a

que el material particulado no se subdivide en componentes, es decir, tratándose de MP sólo importa el tamaño de la partícula, sin embargo, los gases tienen diferentes tipos de tratamientos o formas de abatir, absorber o adsorber los contaminantes dependiendo de cuál es el tipo específico (Ubilla, 2013).

El sistema de filtros consiste en hacer pasar una corriente de gases cargados con partículas de polvo a través de un medio poroso donde queda atrapado el polvo. El filtro de mangas ha sido uno de los más utilizados durante los últimos años, ya que pueden tratar grandes volúmenes de gases con altas concentraciones de polvo. Con este tipo de equipos pueden conseguirse rendimientos mayores del 99%, independientemente de las características de gas, haciendo posible la separación de partículas de un tamaño del orden de 0,01 micras. Conforme pasa el gas, la capa de polvo depositado sobre el material filtrante, que colabora en el proceso de interceptación y retención de partículas de polvo, se va haciendo mayor, aumentando la resistencia al flujo y la pérdida de carga, lo que obliga a disponer de mecanismos para la limpieza automática y periódica del filtro. Hoy en día, el filtro cerámico ha adquirido una mayor importancia en los procesos de depuración de gases. La eficacia filtrante de este tipo de filtros es muy cercana al 100%, excepto si las partículas son de tamaño submicrónico en su mayor parte, o el tamaño del gránulo o fibra que forman el filtro cerámico es grande (Delgado, 2012; Reche et al., 2011).

Peralta (2012) en su artículo: Cálculo y diseño fluido dinámico de un filtro de mangas (tipo pulse jet) para partículas minerales de origen industrial, proporciona las ecuaciones básicas para obtener las dimensiones de un filtro de tipo mangas, habiendo realizado pruebas a nivel piloto. Díaz y González (2016) establecieron parámetros de diseño un filtro de mangas para el sistema de depuración en una acería, teniendo en cuenta el material particulado menores a 10 μm , apropiado para el sistema de captación de partículas.

El presente trabajo tiene como objetivo establecer los parámetros de diseño de un filtro de mangas para minimizar el material particulado generado en el proceso de clinkerización en plantas de elaboración de cemento.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Material de Estudio: Materiales componentes del clinker: caliza; arcilla.

Las materias primas para la producción del portland son minerales con la siguiente composición según análisis químico:

Óxido de calcio (44%),

Óxido de silicio (14,5%),

Óxido de aluminio (3,5%),

Óxido de hierro (3%), Óxido de manganeso (1,6%).

Métodos y Técnicas:

Método: Correlacional de diseño empírico experimental u operacional de contrastación.

Técnicas:

Experimentación: Evaluación de la concentración de material particulado en el área de clinkerización

Procedimiento:

El procedimiento empleado para la evaluación y minimización de la concentración de material particulado generado en el proceso de clinkerización empleando filtros de mangas se describe en la fig. 1.

En la realización del presente trabajo se empleó el procedimiento detallado en las normas medioambientales dictadas por el Ministerio de Medio ambiente para determinar la concentración de material particulado en la zona de estudio.

El monitoreo de la concentración de partículas se efectuó según la metodología EPA 5 0 EPA 17

Para el diseño de los parámetros de diseño del equipo captador de material particulado (filtro de mangas) se siguió el procedimiento seguido para diseño de equipos.

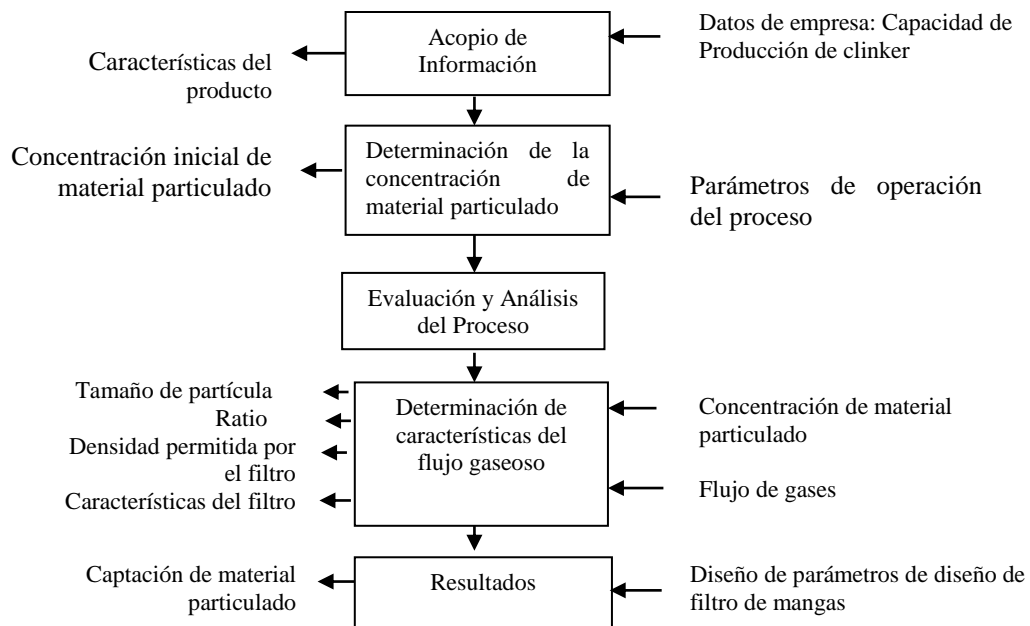


Figura 1. Procedimiento del experimento para minimizar material particulado.

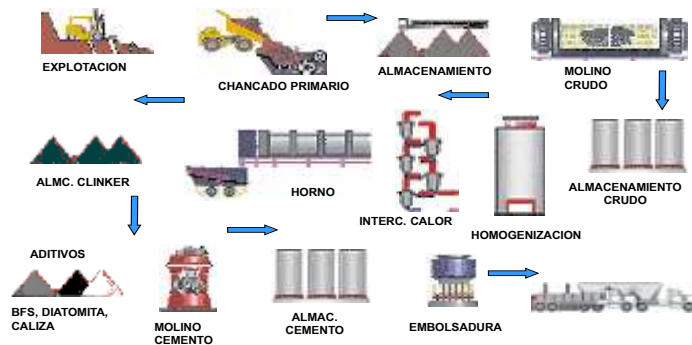


Figura 2. Proceso de elaboración de cemento

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el diseño del filtro de mangas se requiere principalmente conocer la densidad permitida por telas filtrantes comerciales que constituye la superficie filtrante de material especial de acuerdo a las condiciones de operación y principalmente de acuerdo al tamaño de partícula además de otros parámetros de diseño tal como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de diseño del filtro de tipo mangas

Parámetro	Dimensiones
Densidad promedio permitida por el filtro	23g/m ³
Superficie filtrante	174m ³ /h/m ²
Rango de tamaño de partícula	0,5 - 0,01 µm
Espacio entre área de tela y aire	1:1 a 5:1
Relación : longitud a diámetro filtro	L = 3D

El diseño de un filtro de tipo mangas consiste esencialmente en una estructura que contiene en esencia una superficie filtrante de material especial de acuerdo a las condiciones de operación y principalmente de acuerdo al tamaño de partícula. El diseño de estos filtros se determinó a partir de la evaluación de la concentración de material particulado en el área de operación tomando en cuenta principalmente que las partículas son de tamaño inferior a los 10 µm. Hurtado, (2016) empleó estos equipos para tamaños de partículas entre 2 y 30 µm, incluso para partículas muy finas del orden de 0,5 - 0,01 µm, obteniendo una alta eficiencia de captación que bordea los 99 a 99,9 %. A si mismo se empleó una densidad promedio permitida por el filtro de 23g/m³ valor inferior al valor máximo calculado por Elortegui (2013) de 40 g/ m³ en su artículo sobre Diseño y Optimización de un Ciclón-filtro para despolvo de ambientes Industriales determinado en función del costo operativo. Peralta (2012) en su trabajo: "Desarrollo del Diseño Fluido dinámico de un Filtro de Mangas (Tipo Pulse - Jet) para Partículas Minerales de Origen Industrial" empleo una densidad de 15 g/m³

Para partículas de 4 µm ; Martínez (2014) recomienda una concentración de partículas de 1 a 23 g/ m³ , así mismo se empleó una velocidad de filtración de 0,03 m/s (1,80 m/ min); el cual es similar al valor empleado por Elortegui (2013) de 1,90 m/ min en el diseño óptimo de Ciclón – filtro. Hurtado (2013) recomienda una velocidad máxima de filtración de 2,1 m/ min.

En la tabla 2 se presentan los principales parámetros operativos y de diseño de un filtro de tipo mangas experimental, empleando un flujo másico de prueba, para realizar un balance de masa y energía en el horno rotatorio donde se realiza el proceso de clinkerización produciéndose reacciones físicas y químicas que dan lugar a la formación del clinker. El intercambio de calor se produce mediante energía calorífica proporcionada por carbón mineral de tipo bituminoso a temperaturas alrededor de los 1450°C (Merchan ,2010). Como producto de la combustión se generan gases de combustión conteniendo material particulado tanto de cenizas como producto de la combustión como de partículas de clinker.

Zacarías (2016) propuso una mejora en el proceso de consumo de energía térmica en el proceso productivo en una planta de cemento en el Perú, donde evaluó el poder calorífico del carbón; las emisiones generadas por combustión, datos que el autor lo obtuvo directamente de la empresa. Según el estudio realizado por Zacarías las empresas de cemento en el Perú consumen un promedio de 758 225,03kcal / ton siendo el estándar de 740 369,41 kcal / ton de Clinker producido. Campos et al. (2013) efectuaron un estudio sobre Ahorro de energía en la Industria del Cemento determinando un consumo específico de combustible para un proceso vía seca de 800 000 kcal / ton de Clinker, siendo el horno el que consume el 99,5% de la energía térmica requerida en el proceso.

Keppeler G. (2007) En base a análisis, determinó los productos resultantes de la combustión completa en base a las características del carbón: contenido de carbono, humedad, contenido de azufre y nitrógeno; por lo que el flujo másico de gases de combustión se puede determinar a partir de la capacidad de producción de Clinker, el cual consume una cantidad determinada de combustible y por lo tanto un flujo determinado de gases de combustión, finalmente se obtiene experimentalmente la concentración de material particulado en el área de proceso; con estos datos es posible dimensionar el filtro de mangas. La superficie filtrante del sistema se calculó según la relación: $A=Q/q[m^2]$ donde: Q: flujo volumétrico de gas [m³/h], carga específica de la superficie, q (m³/m²/h), similar calculo emplea en sus proyectos de construcción de filtros de mangas la empresa IRMA Projekt Sistem SRL. (2013); valores concordantes con la metodología empleada para el diseño de estos equipos captadores de partículas (Gomez, 2016; González ,2016; Sciotto et al., 2015).

En la tabla 3. Se determinó diversos valores de Arrastre del filtro de mangas en función de la carga sobre la tela obteniéndose una relación: $s = 0,008 W + 0,447$. Martínez y Díaz (2014) establece relaciones matemáticas de caída de presión a través del filtro en función del tiempo y el arrastre del sistema en función del tiempo a una determinada velocidad superficial promedio, en su estudio propone un rango alrededor de 0,2 a 2 pulg de H₂O/ pie/ minuto.

Tabla 2. Parámetros operativos y diseño de filtro de tipo mangas experimental

Símbolo	Nombre	Unidad	Dimensión
m_{Cl}	Flujo de material de prueba	kg/h	126,00
m_g	Flujo másico de gases de combustión	kg/h	174,64
V_g	Flujo de gases del horno de Clinker	m ³ /h	379,26
m_c	Flujo de material particulado	kg/h	0,1450
θ	Extractor de gases (flujo de gases)	m ³ /min	12,600
S_F	Superficie filtrante total	m ²	4,300
A_F	Superficie filtrante unitaria	m ²	0,2772
D	Diámetro del filtro unitario	m	0,1700
L	Altura del filtro unitario	m	0,5230
N_F	Numero de filtros unitarios	---	16,000
hp	Potencia del ventilador	hp	1,500
	Velocidad de filtración	m/s	0,03
ρ	Eficiencia de captación	%	98,10

Tabla 3. Arrastre del filtro de mangas en función de la carga sobre la tela

Carga sobre la tela (W) (g/m ²)	Arrastre del filtro (s) (kg/cm ²)
0	0
200	2,2
400	4,0
600	5,8
800	7,0
1000	8,2

Emisiones de material particulado en el área de clinkerizado:

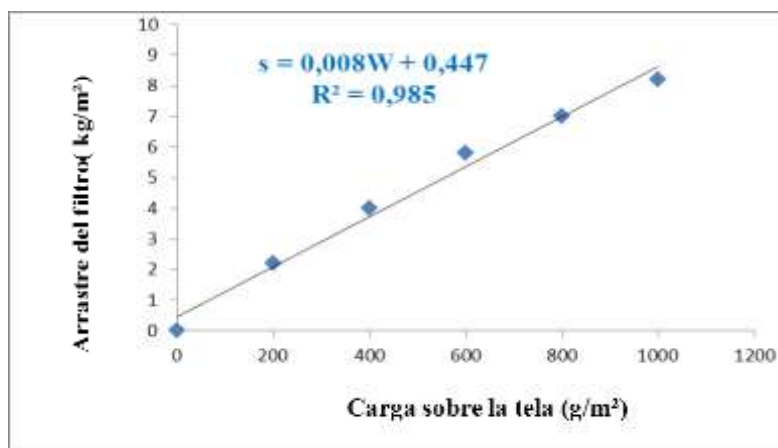
La evaluación se realizó empleando equipo de captación de material particulado en la cercanía del horno de Clinker para captar el material particulado a la salida de los gases de combustión por la chimenea, determinando los datos siguientes:

Ratio: 165 – 183 m³/h / m² (para filtros de tipo mangas).

Tamaño de partículas: 0,5 a 0,01 μ m (evaluadas mediante analizador de partículas “HigtVol.”)

Densidad permitida por el filtro: 0,23 a 23g / m³ aire (según dato del fabricante de filtros)

Relación de espacio de aire y área de tela: 1:1 a 3:1

**Figura 3.** Arrastre del filtro de mangas en función de la carga sobre la tela

Diseño del filtro de tela: colector de partículas

Filtro para gases de combustión de horno de Clinker

Tomando como base el requerimiento de energía en el horno de Clinker se determinaron los flujos de emisiones en función del flujo másico de Clinker: m_{Cl} (kg/h)

Flujo de gases de combustión:

$$m_G = 1,385 * m_{Cl} \quad (\text{kg/h}) \quad (3)$$

Expresado en flujo volumétrico

$$V_G = 3,01 * m_{Cl} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (4)$$

Flujo de cenizas y material particulado

$$m_C = 0,00115 * m_{Cl} \quad (\text{kg/h}) \quad (5)$$

Parámetros de diseño del filtro de mangas

Extractor de gases

Flujo Volumétrico

$$v_v = 0,10 * m_{Cl} \quad (\text{m}^3/\text{min}) \quad (6)$$

Superficie Filtrante

Teniendo en cuenta el flujo volumétrico de gases

$$S_F = 0,0341 * m_{Cl} \quad (\text{m}^2) \quad (7)$$

Diámetro de tela filtrante

$$D = 0,0152 * m_{Cl}^{0,5} \quad (\text{m}) \quad (8)$$

Altura del Filtro

$$L = 0,0457 * m_{Cl}^{0,5} \quad (\text{m}) \quad (9)$$

Superficie de filtro unitario

$$A_F = 0,0022 * m_{Cl} \quad (\text{m}^2) \quad (10)$$

Numero de filtros unitarios

$$N_F = S_F / A_F$$

Volumen del cuerpo del filtro considerando el volumen del filtro

$$V_{CF} = 0,000035 * m_{Cl}^{1,5} \quad (\text{m}^3) \quad (11)$$

Volumen del cuerpo filtrante

$$V_{cf} = 0,000175 * m_{Cl}^{1,5} \quad (\text{m}^3) \quad (12)$$

Empleando la ecuación para ventiladores. (Perry, J. 2017)

Potencia del ventilador centrifugo

$$hp_v = 0,00222 * \theta_g * SP / \eta \quad (\text{hp}) \quad (13)$$

Reemplazando datos:

$$hp_v = 0,00925 * m_{Cl} \quad (\text{hp}) \quad (14)$$

SP. Presión estática: SP: cm. de columna de agua: 25cm de C.A.

η : Eficiencia mecánica del ventilador

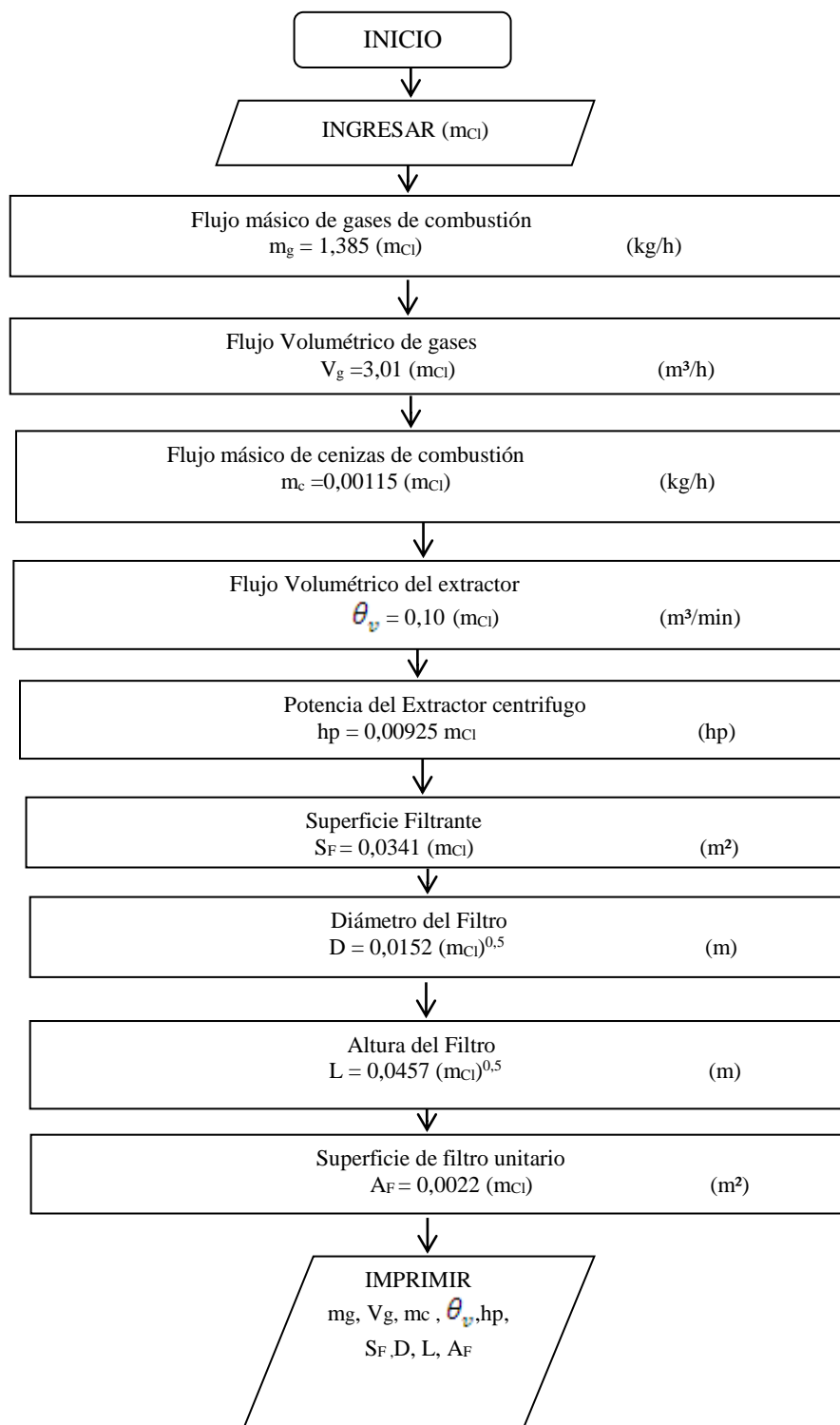



Figura 4. Algoritmo de diseño de filtro de tela para la captación de material particulado generado en el proceso de clinkerización



RESULTADOS		
Flujo de gases de combustión (mg)	249.3	(kg/h)
Flujo Volumetrico de gases (Vg)	541.8	(m3/h)
Flujo másico de cenizas de combustión (mc)	0.207	(kg/h)
Flujo volumétrico del extractor (Øv)	18.0	(m3/min)
Potencia del extractor centrifugo (hp)	1.665	(hp)
Superficie filtrante (Sf)	6.138	(m2)
Diametro de filtro (D)	0.2039294	(m)
Altura de filtro (L)	0.61312985	(m)
Superficie de filtro unitario (Af)	0.396	(m2)

Figura 5. Calculo de los parámetros de diseño de filtro de mangas mediante software

Elortegui y Barbosa (2013). Para el dimensionamiento de un filtro de mangas empleo el criterio de diseño de la velocidad de filtración, teniendo en cuenta la relación aire/tela. Para determinar la velocidad de filtración se deberá tener en cuenta, que si la velocidad es baja aumenta la superficie filtrante, y si es demasiado alta, aumenta la frecuencia de limpieza, acortando la vida del filtro y provocando una compactación excesiva de la capa de polvo. Los fabricantes de filtros de mangas recomiendan una densidad permitida por el filtro en el rango de $0,23$ a 23 g/m^3 aire; en el presente estudio se consideró una densidad de 23 g/m^3 considerando la alta concentración de material particulado a la salida del proceso de clinkerizado y alta eficiencia en la captación de partículas. Elortegui y Barbosa (2013) evaluó el costo operativo anual como función de la concentración de partículas; para una operación de captación de material particulado sin empleo de ciclón, el costo mínimo se determinó a una concentración de 20 g/m^3 .

El sistema de captación de partículas incluye un ventilador centrífugo que impulsa los gases de combustión conteniendo el material particulado, para su cálculo se empleó la relación matemática para ventiladores. (Perry J. 2017). El parámetro presión estática (SP) en la selección del ventilador es muy importante puesto que es función de la velocidad de los gases que pasan a través de la tela que forma la bolsa, se empleó un valor de columna de agua 25 cm de C.A. de esa forma las partículas quedan retenidas entre los intersticios de la tela formando una torta filtrante. De esta manera la torta va engrosando con lo que aumenta la pérdida de carga del sistema. Para evitar que el caudal disminuya se procede a efectuar una limpieza periódica de las mangas.

Peralta (2012) efectuó el diseño de un filtro de mangas (tipo pulse jet) para partículas minerales de origen mineral como el cemento, como resultado de ello elaboró las ecuaciones básicas para obtener las dimensiones de un filtro de tipo mangas, habiendo realizado pruebas a nivel piloto empleando un caudal de $1,52\text{ m}^3/\text{s}$; con una concentración de $1,143\text{ g/m}^3$, requiriendo un área de filtro de $36,893\text{ m}^2$. Según los resultados de la tabla 3: Parámetros operativos y diseño de filtro de tipo mangas experimental, para un flujo de gases del horno de clinker de $379,26\text{ m}^3/\text{h}$ ($0,1054\text{ m}^3/\text{s}$), se requirió $4,3\text{ m}^2$; que si consideramos la proporción entre ambos flujos de gases empleados en los respectivos experimentos; para el flujo de $1,52\text{ m}^3/\text{s}$ se calcula un área de filtro de 62 m^2 , comparado al empleado por Peralta (2012) es aproximadamente 1,7 veces mayor esta diferencia se debe a que en su diseño el autor empleo una concentración de $1,143\text{ g/m}^3$, mucho menor a la

concentración empleada en el presente experimento..

Los parámetros fundamentales a considerar en el diseño de un filtro de mangas son la velocidad del gas y la pérdida de carga. La velocidad del gas es bastante reducida, por lo que se considera flujo laminar.

En el experimento se empleó una velocidad de filtración de 0,04 m/s, la cual está en el rango empleado por Echeverri (2008) el cual emplea para diferentes sustancias un rango de velocidad de 0,005 a 0,050 m/s. Según Peralta (2012), la velocidad a la que los gases pasan por la tela debe ser baja, normalmente entre 0,005 y 0,03 m/s, para evitar una excesiva compactación de la torta de sólidos con la consiguiente elevación de la pérdida de carga, o para impedir la rotura local del lecho filtrante que permitiría el paso de partículas grandes a través del filtro.

4. CONCLUSIONES

La eficiencia del filtro de mangas diseñado para captar material particulado en procesos de clinkerización se determinó en 98%; el material particulado proviene de los gases de combustión conteniendo inquemados, cenizas y clinker constituyendo partículas de tamaño entre 0,01 μm y 30 μm . El diseño del filtro se determina a partir de la capacidad de carga de Clinker al horno de proceso, considerando una densidad promedio para el diseño del filtro de 23g/m³. El sistema de captación de partículas incluye un ventilador centrífugo que impulsa los gases de combustión conteniendo el material particulado, a través de la tela que forma la bolsa, con una presión estática máxima de 25cm de C.A.

La velocidad de filtración de los gases que contienen el material particulado se determinó en 0,04 m/s.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, G. y Briones E. 2015. Diseño de un Sistema de Supervisión y Control para el Proceso de Obtención de Clinker en el Horno Vertical 4 de la Planta Industrial Cementos Selva. Tesis para obtener el Título de Ingeniero Electrónico, Área Automatización y Control Universidad Privada Antenor Orrego.
- Canales, R.; Quintero, N.; Telma G.; Castro, R.; García, C. 2014. Las Partículas Respirables PM10 y su Composición Química en la Zona Urbana y Rural de Mexicali, Baja California en México 22: 13-22
- Delgado, G. 2012. Filtros Cerámicos. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/39380/>
- Díaz, H.; González, L. 2016. Diseño de un filtro de mangas para el sistema de depuración de una acería eléctrica Research Proposal 57:18- 34
- Elortegui, I.; Barbosa, M. 2013. Diseño y Optimización de un Sistema Ciclón-Filtro para desempolvado de Ambientes Industriales VII CAIQ 2013 y 2da JASP 20: 12-18.
- Gómez, C. 2016. Conversión de un precipitador electrostático a filtro de mangas (pulse-jet) en la planta de molienda de carbón en la cementera UNACEM – Atocongo . Lima – Perú 217: 44- 55
- González, A. 2014. Filtros de Mangas en Fábricas de Cemento. ISSN 0008-8919, N°. 961,34: 26-34
- González, L.; Díaz, J.; Fernández, C.; Romero, A.; Sánchez de la Campa, V.; Galán, E.; González, G. 2014. Influencia del Material Particulado Atmosférico, Derivado de Residuos Mineros, en la Calidad del Aire y de los Suelos en la Comarca de Riotinto (Huelva) 80:59-61
- Gutiérrez, P.; Larrotta, S.; Niño, P.; Martínez, I. 2013. Riesgo Químico, Material particulado (Humo y polvo). Universidad Politécnica y Tecnológica de Colombia 57 : 4-9
- Hurtado, M. 2016. Diseño de filtros de Mangas. Anexo: 8 Junta de Andalucía. Universidad Internacional de Andalucía Sevilla 6:121-127
- IRMA Projekt Sistem D.o.o 2013. <http://www.irma-ps.com>
- Johansen, V. 2014. Cocción de Clinker de cemento portland en hornos rotatorios. Laboratorios F. L. SMIDTH & CO 167:166-167
- Keppeler, G. 2007. Carbones; hulla, lignito y turba. Grupo Editorial Océano, Barcelona España. Capítulo 6. 1604 pp.
- Martínez, A. y Díaz, M. 2014. Contaminación atmosférica. Editor Universidad de Castilla-La Mancha. ISBN8484273245, 9788484273240, España. 288 pp
- Merchán, V. 2010. Estudio del proceso de recolección de polvo en el filtro de Mangas del Enfriador de Clinker de Compañía Industrias Guapan. Facultad de Ciencias Químicas.

- Minguillón, B. 2011. Composición y fuentes del material particulado atmosférico en la zona cerámica de Castellón. Impacto de la introducción de las Mejores Técnicas Disponibles. Universitat Jaume I. Departament d'Enginyeria Química. 98:80-94
- Ministerio del Ambiente 2016. Emisiones de contaminantes atmosféricos: Emisiones atmosféricas contaminantes Lima – Perú.
- Peralta, C. 2012. Calculo y diseño fluido dinámico de un filtro de mangas (tipo pulse jet) para partículas minerales de origen industrial. URI:
- Perry, J. 2017. Manual Ingeniero Químico. 6ta Edición. Editorial Mc Graw Hill México 1554 pp.
- Reche, C.; Querol, X.; Alastuey, A.; Viana, M. 2011. Variability of levels of PM, black carbon and particle number concentration in selected European cities. Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union. 17:14-20
- Sciotto, M.; Quintero, R.; Cepeda, V.; Sosa, D.; Gonzales, N.; Freitas, F. 2015. Proceso de elaboración del cemento. Universidad Gran Mariscal de Ayacucho sede: Barcelona Ingeniería del Ambiente y de los Recursos Naturales. 19: 16-18.
- Suárez,.; Álvarez, T., Bendejú, Y; José Pomalaya J. 2017. Caracterización química del material particulado atmosférico del centro urbano de Huancayo, Perú Rev. Soc. Quím. Perú vol.83 N°2 versión impresa ISSN 1810-634X
- Ubilla, P. 2013. Sistemas de Control de Emisiones: olores, gases, material particulado. Laboratorio de Análisis Consultoría y Vigilancia medioambiental, soluciones Medioambientales Disponible en: [http: www.labaquia.com](http://www.labaquia.com)
- Vega de Kuyper, J. (2002). Manejo de Residuos de la Industria Química y a fin. 2da Edición. Editorial Alfa Omega. Universidad Católica de Chile: 40pp
- Villarroel, S.; Morales, R.; Miranda, J.; Díaz, S.; Arce, M.; Campos, C. (2009). Captura, cuantificación y caracterización del material particulado sedimentar en techumbres de la ciudad de Copiapó. Universidad de Atacama, Facultad de Ciencias Naturales, Departamento de Física. Casilla 240. Copiapó, Chile.
- Zacarías, S. 2018. Propuesta de mejora del proceso de consumo de energía térmica como parte del Proceso Productivo en una Planta de Cemento en Perú. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) 143:60-70

ANEXOS



Figura A-1. Colocación de los filtros en las placas separadoras

Calculo del filtro de mangas

Para filtro de tipo mangas

Volumen de aire conteniendo material particulado (V_{gc})

Ratio: 165 – 183 $m^3/h/m^2$ (Díaz y González, 2016)

Tamaño de partículas: 0,5 a 0,01 μm .

Densidad permitida por el filtro: 0,23 a 23g / m^3 gas (Peralta, 2012)

Espacio de gases y área de tela: 1:1 a 5:1

Considerando una densidad promedio (partículas pequeñas):

Considerando una densidad promedio: 23, 0 g / m^3

Calculo de superficie de tela filtrante (S_f) en función del volumen de aire a purificar:

$S_e = 174m^3/h / m^2$ (Tela)